



Penggunaan Mulsa Reflektif pada Sistem Tumpangsari Kedelai-Kelapa Sawit

The Use of Reflective Mulch in Soybean-Oil Palm Intercropping System

Mufika Haryu Suci Fitriana¹, Yonny Koesmaryono¹, Impron¹, dan Taufan Hidayat^{2*}

¹Departemen Geofisika dan Meteorologi, Gedung FMIPA, IPB, Jl. Meranti Wing 19 Lv.4 Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

²Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Syiah Kuala, Kota Banda Aceh 23111

ARTICLE INFO

Article history:

Received 16 August 2019

Received in revised from 21 October 2019

Accepted 26 December 2019

doi: 10.29244/j.agromet.33.2.71-83

Keywords:

Intercropping

Radiation transmission

Reflective mulch

Solar radiation

ABSTRACT

Demand for soybean is increasing nowadays as it provides a high nutrition food at affordable price. To fulfill the demand, an intercropping system of soybean-oil palm may increase the production of soybean. However, shading by the oil palm canopy would reduce the amount of radiation reaching the soil surface. Theoretically, application of reflective mulches may increase the amount of solar radiation intercepted by the shaded plants, hence it gives a positive effect for plant growth. The study aimed to analyze the effect of an increased radiation transmission with reflective mulch on the growth and development of soybean under an intercropping system with 4-year olds oil palm. The experiments were carried out on PT. Perkebunan Nusantara VIII located in Cimarga District, Lebak Regency, from March to June 2018. There were three treatments based on mulch application, namely soil without mulch (R0), soil with black silver plastic mulch (R1), and soil with dry palm oil leaf mulch (R2). The results showed that a canopy of 4-year-olds oil palm transmitted around 42% of an incoming radiation. The use of mulch as radiation reflector has a positive effect on an increased interception of solar radiation and potential productivity. Under R1 and R2 treatments, intercepted radiation was 25% and 15% larger than that of R0. In addition, mulch increased radiation use efficiency (RUE) by 2.3 times under R1 (1.6 g/MJ) and 1.7 times under R2 (1.2 g/MJ). The potency of productivity also increased (1.48 and 1.42 times higher under R1 and R2, respectively). The finding confirmed that mulch application did not affect the plant development in any treatment. Furthermore, we suggest that an intercropping system of soybean and 4-year-olds oil palm may be applied to increase the soybean production in Indonesia.

PENDAHULUAN

Kedelai merupakan salah satu komoditas pertanian yang penting dan terus dikembangkan untuk mendukung program ketahanan pangan nasional. Selain mengandung zat gizi yang tinggi, harga kedelai yang cukup terjangkau menjadikan permintaan dan konsumsi kedelai semakin meningkat. Rata-rata kebutuhan konsumsi kedelai masyarakat Indonesia adalah 2,2 juta ton/tahun, namun sebanyak 68% dari kebutuhan kedelai nasional dipenuhi melalui impor (Kementan, 2016). Usaha peningkatan produksi kedelai dapat dilakukan dengan pemanfaatan lahan potensial, seperti pada lahan di bawah tegakan perkebunan (Ross and Abbate, 2018).

Salah satu jenis tanaman perkebunan yang dapat ditumpangsarikan adalah kelapa sawit karena masih terdapat ruang cukup luas antar tanaman yang dapat dimanfaatkan untuk tanaman sela. Rekomendasi tanaman sela pada pertanaman kelapa sawit umur empat tahun yaitu kedelai dengan mempertimbangkan kondisi iklim mikro di bawah tegakan kelapa sawit. Tanaman kelapa sawit umur empat tahun mampu mentransmisikan 42% dari radiasi yang datang (Afandi, 2014). Tanaman kedelai dapat dijadikan sebagai tanaman sela pada perkebunan kelapa sawit umur empat tahun karena memiliki kebutuhan radiasi kurang dari 400 W/m² (Sigalingging et al., 2016).

* Corresponding author: taufanhidayat@unsyiah.ac.id

Tajuk kelapa sawit mempengaruhi iklim mikro di lahan terbuka dan di bawah tajuk akibat reduksi radiasi matahari oleh tajuk. Salah satu usaha untuk meningkatkan distribusi radiasi pada tanaman ternaungi atau tanaman dengan kondisi radiasi yang rendah adalah penggunaan mulsa sebagai reflektor radiasi. Sifat radiasi matahari yang dapat merambat dan dapat dipantulkan menyebabkan radiasi yang ditransmisikan oleh tajuk tanaman ke permukaan dapat dimanfaatkan oleh tanaman (Mubarak, 2017). Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh peningkatan transmisi radiasi dengan mulsa reflektif pada pertumbuhan dan perkembangan tanaman kedelai yang ditumpangsarikan dengan kelapa sawit umur empat tahun.

METODE PENELITIAN

Rancangan percobaan

Percobaan dilakukan dengan menggunakan rancangan kelompok lengkap teracak (RKL) dengan faktor tunggal yaitu perbedaan jenis mulsa (reflektor). Perlakuan yang diujikan meliputi perlakuan (i) tanpa mulsa (R0), (ii) mulsa plastik hitam perak (R1), dan (iii) mulsa daun kering kelapa sawit (R2). Analisis statistika ANOVA (*Analysis of Variance*) dengan taraf nyata 5% dilakukan menggunakan perangkat lunak SAS 9.1. Uji F dilakukan apabila terdapat pengaruh nyata ($F_{hitung} > F_{tabel}$) terhadap parameter yang diamati dengan uji jarak ganda Duncan sebagai uji lanjut (Saville, 2015).

Varietas ditanam dengan jarak tanam 40 cm x 12.5 cm dengan 2 benih per lubang. Ukuran bedengan

2.4 m x 9 m dengan arah baris tanaman timur-barat (Gambar 1a dan 1b). Pemeliharaan tanaman meliputi pemupukan, penyiraman terutama di awal tanam, dan pengendalian gulma, hama, dan penyakit tanaman.

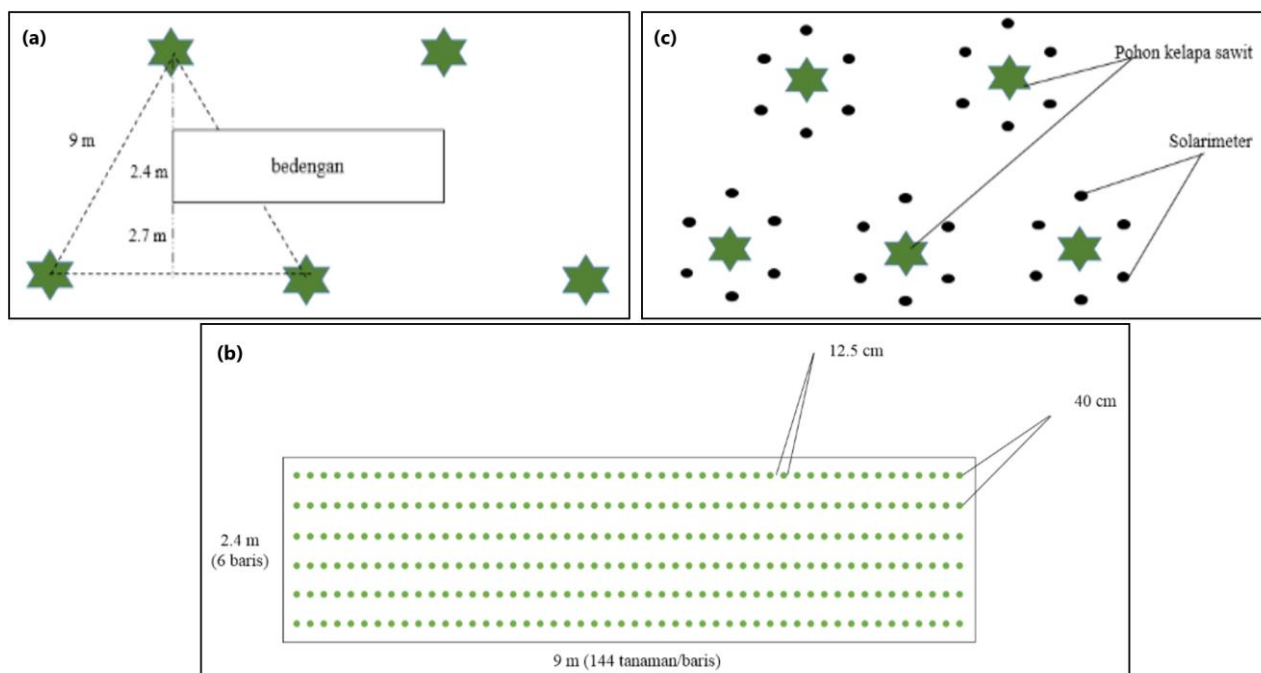
Pengukuran radiasi transmisi kelapa sawit dan radiasi yang dapat dimanfaatkan tanaman

Pengukuran dilakukan pada tanaman kelapa sawit umur empat tahun menggunakan metode *triangular* yang umum digunakan pada tanaman kelapa sawit (Sheikholeslami and Rokni, 2018) (Gambar 1c). Pengukuran dengan metode ini juga dilakukan pada penelitian Afandi (2014) untuk mengukur radiasi transmisi kelapa sawit pada beberapa umur tanaman. Perhitungan radiasi yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman sela pada kelapa sawit umur empat tahun dihitung menggunakan Persamaan (1).

$$\text{Radiasi} = \frac{\text{Radiasi global} + (2 \times \text{Radiasi transmisi})}{3} \quad (1)$$

Pengamatan fase Pertumbuhan dan perkembangan tanaman

Tinggi tanaman dan diameter tanaman diukur pada dua minggu setelah tanam (MST) hingga 10 MST untuk pengukuran setiap dua minggu sekali. Tanaman contoh ditentukan sebanyak tiga tanaman pada setiap bedengan dan bukan merupakan tanaman pinggir. Tinggi tanaman diukur dari pangkal batang hingga pangkal daun tertinggi tanaman, sedangkan diameter batang diukur tiga cm dari permukaan tanah.



Gambar 1. Ilustrasi rancangan percobaan: (a) posisi bedengan pada lorong kelapa sawit, (b) ukuran bedeng dan populasi tanaman kedelai, dan (c) posisi titik pengukuran radiasi transmisi tanaman kelapa sawit umur empat tahun menggunakan metode *triangular*.

Pengukuran radiasi dilakukan pada setiap bedengan yang meliputi pengukuran radiasi di atas tajuk dan di bawah tajuk kedelai. Pengambilan data bobot kering tanaman dilakukan setiap dua minggu sekali dengan memilih dua tanaman contoh pada setiap bedengan serta penimbangan bobot kering tanaman tiap organ dilakukan di Laboratorium Terpadu Departemen Geofisika dan Meteorologi, IPB. Tanaman contoh diambil secara acak dan bukan merupakan tanaman pinggir. Bobot kering didapatkan dengan cara memasukkan tanaman ke dalam oven pengeringan dengan suhu 105°C selama 48 jam.

Perubahan fase perkembangan tanaman diamati secara visual dengan melihat perubahan pada tanaman. Fase perkembangan tanaman vegetatif yang diamati meliputi fase perkecambahan, kotiledon membuka sempurna, serta kemunculan daun *trifoliolate* pertama hingga ketiga. Sedangkan fase reproduktif diamati ketika tanaman mulai berbunga, muncul polong, hingga polong matang sempurna berwarna kuning kecoklatan dan siap dipanen. Pengamatan fase pertumbuhan tanaman digunakan sebagai parameter untuk menentukan jumlah akumulasi panas (*heat unit*) yang diperlukan tanaman pada masa hidupnya. Panen dilakukan saat 86 (HST menggunakan metode *purposive random sampling*).

Data yang diperoleh, kemudian digunakan untuk menganalisis nilai beberapa parameter berikut.

1. Indeks luas daun (ILD)

Pengukuran indeks luas daun dilakukan setiap dua minggu sekali. Daun tanaman contoh dipindai dan disimpan dalam bentuk foto berekstensi *.jpg. Pengolahan data lanjutan menggunakan ArcMap 10.4 yang digunakan untuk mengklasifikasi perbedaan warna menjadi poin atau angka sehingga luas daun dapat diidentifikasi dari data tersebut (Hu et al., 2018). Data poin daun diolah menggunakan Ms. Excel sehingga diperoleh persentase perbandingan poin daun dan poin pemindai sehingga luas daun dapat diidentifikasi. Indeks luas daun (ILD) dihitung menggunakan Persamaan (2).

$$ILD(m^2m^{-2}) = \frac{\text{Luas daun per tanaman} \times \text{Jumlah tanaman}}{\text{Luas lahan}} \quad (2)$$

2. Koefisien pemadaman

Koefisien pemadaman adalah nilai yang menjadi skala besar radiasi matahari yang diintersepsi oleh kanopi tanaman. Koefisien pemadaman dihitung berdasarkan nilai radiasi yang jatuh di atas tajuk tanaman dan nilai radiasi yang ditransmisikan oleh tajuk tanaman, serta luas daun yang telah dihitung menggunakan metode *scanmeter*. Perhitungan koefisien pemadaman diperoleh dari penurunan Hukum Beer menggunakan Persamaan (3) (Zheng et al., 2017).

$$k = \frac{\ln \frac{Q}{Q_t}}{ILD} \quad (3)$$

dimana k adalah koefisien pemadaman, Q radiasi datang rata-rata ($MJ/m^2/hari$), Q_t radiasi transmisi rata-rata ($MJ/m^2/hari$), dan ILD indeks luas daun.

3. Intersepsi Radiasi Total

Intersepsi radiasi total pada tanaman kedelai diperoleh dari radiasi yang sampai di puncak tajuk tanaman dan tambahan radiasi yang direfleksikan oleh permukaan pada tiap perlakuan (tanpa mulsa, mulsa plastik hitam perak, mulsa daun kering kelapa sawit). Intersepsi radiasi matahari oleh tajuk tanaman dari radiasi yang sampai pada puncak tajuk dapat dihitung dengan Persamaan (4) dan (5).

$$Q_{int} = Q_0 - Q_{trans} \quad (4)$$

$$Trans = (Q_{trans} / Q_0) \times 100\% \quad (5)$$

dimana Q_{int} intersepsi radiasi matahari (MJ/m^2), Q_{trans} transmisi radiasi matahari (MJ/m^2), $Trans$ persentase transmisi radiasi (%), dan Q_0 radiasi yang diterima di atas tajuk (MJ/m^2).

Intersepsi radiasi matahari juga dapat diduga menggunakan persamaan Hukum Beer (Persamaan 6).

$$Q_{int} = Q_0 \times (1 - \text{Exp}(-k \times ILD)) \quad (6)$$

dimana k adalah koefisien pemadaman dan ILD adalah indeks luas daun.

Radiasi tambahan bagi tanaman kedelai didapatkan dari radiasi yang dipantulkan oleh permukaan mulsa maupun permukaan tanah sehingga nilai tersebut dipengaruhi oleh radiasi yang ditransmisikan oleh tajuk kedelai dan albedo reflektor. Transmisi radiasi oleh tajuk tanaman kedelai juga dapat diduga dengan Hukum Beer (Persamaan 7-10).

$$Q_{trans} = Q_0 \times \text{Exp}(-k \times ILD) \quad (7)$$

$$Q_r = Q_{trans} \times \alpha \quad (8)$$

$$Q_{rint} = Q_r \times (1 - \text{Exp}(-k \times ILD)) \quad (9)$$

$$Q_a = Q_{int} + Q_{rint} \quad (10)$$

dimana Q_r radiasi yang direfleksikan oleh mulsa (MJ/m^2), Q_{rint} radiasi yang diintersepsi kedelai dari radiasi refleksi permukaan (MJ/m^2), Q_a radiasi intersepsi total tanaman kedelai (MJ/m^2), dan α albedo mulsa.

4. Efisiensi pemanfaatan radiasi (EPR)

Efisiensi penggunaan radiasi matahari dapat dihitung berdasarkan rasio bobot kering tanaman pada fase tertentu dan intersepsi radiasi oleh tajuk tanaman pada waktu yang sama. Nilai EPR dapat dihitung berdasarkan Persamaan (11) (Handoko 1994).

$$EPR = \frac{\Delta W}{\sum Q_{int}} \quad (11)$$

dimana EPR efisiensi pemanfaatan radiasi ($g\ MJ^{-1}$), ΔW perubahan biomassa tanaman (gr), dan $\sum Q_{int}$ akumulasi intersepsi radiasi ($MJ\ m^{-2}$).

5. Heat unit

Heat unit atau akumulasi panas merupakan akumulasi selisih antara suhu rata-rata harian (T) dengan suhu dasar (T_b) pada suatu fase pertumbuhan tanaman (s). Persamaan (12) digunakan untuk menentukan akumulasi panas.

$$HU = s \sum_{i=1}^n (T - T_b) \quad (12)$$

dimana HU Heat unit, s fase perkembangan tanaman, T suhu udara rata-rata harian, dan T_b suhu dasar tanaman kedelai $10^\circ C$ (Goplen et al., 2016).

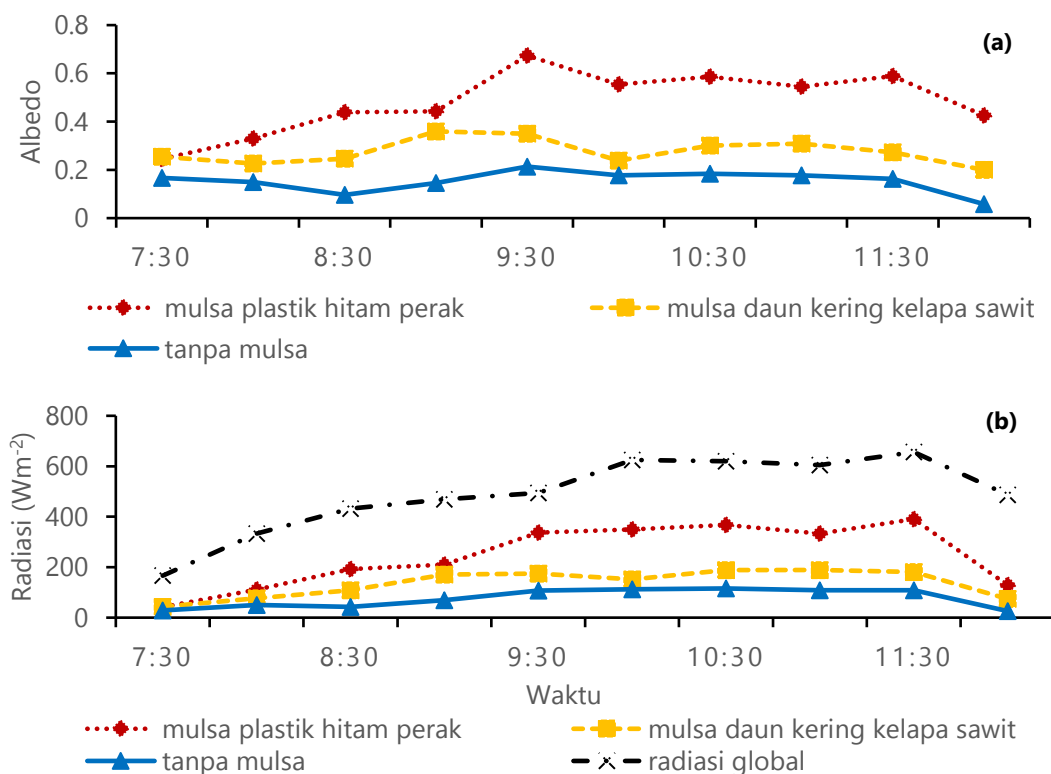
HASIL DAN PEMBAHASAN

Kemampuan Reflektif Mulsa

Fungsi mulsa sebagai reflektor diharapkan dapat memberi tambahan radiasi bagi tanaman sehingga dapat memaksimalkan potensi hasil tanaman. Jenis mulsa yang digunakan memiliki kemampuan refleksi yang berbeda-beda tergantung pada warna maupun karakteristik permukaan yang ditunjukkan oleh albedo.

Albedo merupakan fraksi radiasi yang direfleksikan dari suatu permukaan. Rentang nilai albedo 0.1 – 0.2 terdapat pada permukaan tanah yang kasar dan gelap, sedangkan semakin halus dan terang warna permukaan maka nilai albedo akan semakin tinggi (Wang et al., 2015). Tanah dengan warna yang terang dan permukaan yang halus memiliki nilai albedo berkisar antara 0.4-0.5, dan albedo pada tutupan salju dapat mencapai 0.9 (Shao et al., 2019).

Permukaan yang diamati meliputi permukaan tanah, mulsa plastik hitam perak, dan daun kering kelapa sawit. Kondisi cuaca ketika dilakukan pengamatan adalah cerah saat pagi hari dan berangsur berawan ketika menjelang siang sehingga radiasi global yang diterima selama pengamatan berupa radiasi langsung dan radiasi baur akibat tutupan awan. Nilai albedo tertinggi terdapat pada permukaan mulsa plastik hitam perak dengan nilai maksimum 0.7. Albedo maksimum pada permukaan daun kering kelapa sawit mencapai 0.4, sedangkan nilai albedo terendah pada permukaan tanpa mulsa (permukaan tanah) dengan nilai maksimum albedo 0.2. Jumlah radiasi yang direfleksikan oleh permukaan mengikuti pola besarnya radiasi yang datang. Semakin besar jumlah radiasi yang datang maka semakin besar pula radiasi yang dipantulkan oleh permukaan. Nilai albedo dan radiasi yang direfleksikan setiap perlakuan mulsa disajikan pada Gambar 2a dan 2b.



Gambar 2. Pengaruh perlakuan mulsa pada tumpangsari kedelai dan kelapa sawit terhadap: (a) albedo, dan (b) intensitas radiasi global dan radiasi yang direfleksikan oleh permukaan.

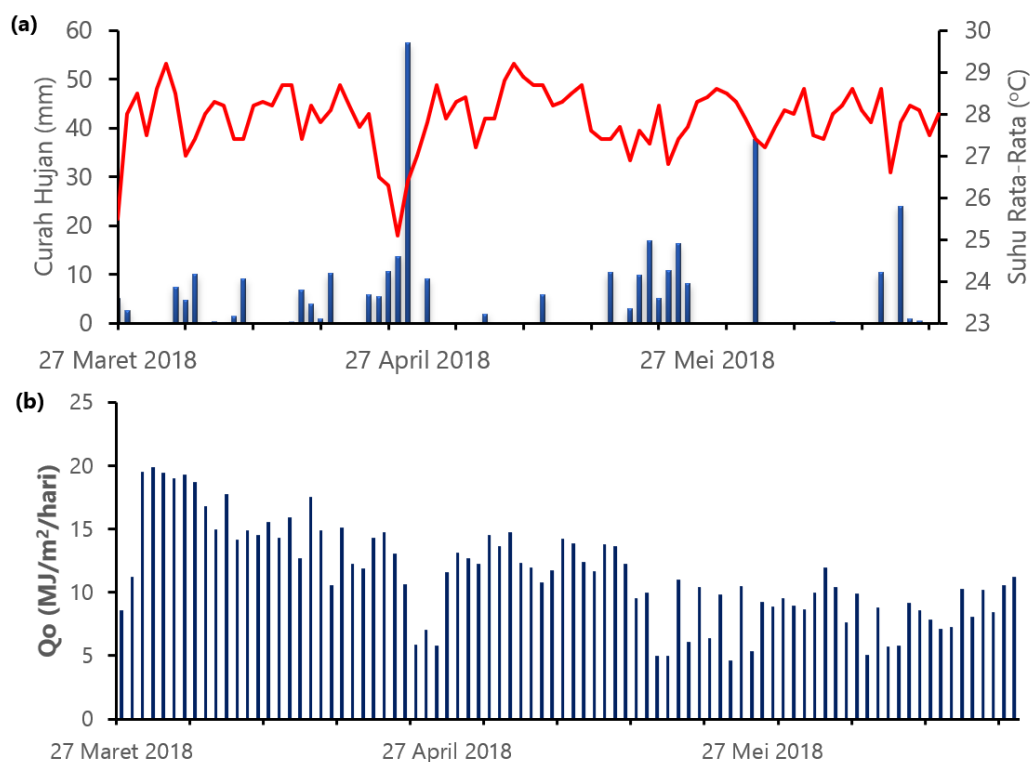
Kondisi Cuaca Selama Penelitian

Penanaman dilakukan pada periode 27 Maret 2018 hingga 20 Juni 2018 di PT. Perkebunan Nusantara VIII yang bertempat di Kecamatan Cimarga, Kabupaten Lebak, Provinsi Banten. Data cuaca didapatkan dari stasiun meteorologi terdekat, yaitu Stasiun Meteorologi BMKG kelas 1 Serang berupa data curah hujan, suhu udara, dan radiasi global harian yang diterima (Gambar 3). Periode tersebut merupakan musim kemarau di lokasi penelitian, daerah dengan pola hujan monsunial dengan (distribusi curah hujan bulanan berbentuk "V") puncak musim kemarau pada bulan Juni, Juli, atau Agustus (Yang et al., 2016).

Lokasi penelitian yang merupakan daerah tropis dengan variasi suhu udara musiman yang rendah. Suhu rata-rata harian minimum dan maksimum mencapai 25.1°C dan 29.2°C dengan suhu rata-rata 27.9°C. Periode awal tanam yang dilakukan pada musim kemarau berakibat pada pertumbuhan yang kurang maksimum pada awal fase vegetatif. Akumulasi curah hujan selama penelitian mencapai 327.9 mm dengan jumlah hari hujan sebanyak 32 hari, dan hari tanpa hujan 54 hari. Curah hujan yang rendah pada awal tanam diatasi dengan penyiraman setiap hari. Setelah tanaman melewati fase kritis kebutuhan air, penyiraman secara intensif tidak dilakukan karena kebutuhan air tanaman dapat dipenuhi oleh curah hujan. Curah hujan maksimum terjadi pada 26 April 2018 yang mencapai 57.4 mm.

Intensitas radiasi matahari cukup fluktuatif selama periode penelitian berlangsung. Akumulasi radiasi matahari di luar pertanaman kelapa sawit mencapai 984.8 MJ/m² dengan rata-rata intensitas radiasi harian sebesar 11.4 MJ/m². Radiasi maksimum mencapai 19.8 MJ/m² per hari dengan lama penyinaran pada hari tersebut mencapai 10.5 jam. Lokasi penelitian memiliki panjang hari yang relatif konstan yaitu 12 jam setiap hari. Hal yang mempengaruhi jumlah penerimaan intensitas radiasi global adalah pengaruh atmosfer. Ketika radiasi matahari memasuki sistem atmosfer menuju permukaan bumi, aerosol dan awan yang terdapat di atmosfer akan memantulkan kembali sebagian radiasi matahari ke angkasa luar. Sebagian lain dari radiasi yang datang akan diserap oleh gas-gas aerosol dan awan di atmosfer, dan sisanya akan diteruskan ke permukaan bumi sebagai radiasi langsung maupun radiasi baur (Uto et al., 2019).

Perubahan cuaca yang cukup signifikan terjadi pada minggu 4-5 dikarenakan aktivitas aliran massa udara basah yang dikenal dengan fenomena skala regional *Madden Julian Oscillation* (MJO). MJO yang aktif akan meningkatkan kondisi keawanan akibat interaksi konveksi intra-seasonal tropis dan ditambah dengan gangguan yang merambat dari Samudera Hindia barat ke Samudera Pasifik tengah selama 30 – 90 hari (Henderson et al., 2017). Tingkat keaktifan MJO pada periode April-Juni 2018 disajikan pada Gambar 4a. Semakin jauh dari nilai nol dari RMM1 ataupun RMM2, MJO semakin aktif.



Gambar 3 Variabilitas iklim: (a) suhu udara rata-rata dan curah hujan, dan (b) radiasi global harian selama penelitian.

Peningkatan curah hujan yang cukup signifikan pada lokasi penelitian berdampak pada penerimaan radiasi global harian dan suhu udara rata-rata harian yang menurun secara signifikan. MJO memiliki siklus perambatan 30-90 hari dan dapat bertahan pada suatu fase atau lokasi perambatan selama 3-10 hari (Bureau of Meteorology, 2019). MJO yang terjadi pada periode tersebut berpengaruh pada peningkatan uap air yang berkontribusi pada pembentukan awan hujan di wilayah Indonesia bagian barat hingga tengah.

Pertumbuhan dan Perkembangan Tanaman Kedelai

Faktor iklim dapat memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Tanaman kedelai yang merupakan tanaman legum dipengaruhi oleh faktor lingkungan meliputi letak lintang, ketinggian tempat, suhu, panjang hari, dan kelembaban. Di antara faktor lingkungan lainnya radiasi matahari telah terbukti paling berpengaruh terhadap produksi bobot dan parameter pertumbuhan kedelai lainnya (Zanon et al., 2016). Parameter yang digunakan untuk mengetahui pertumbuhan tanaman antara lain tinggi tanaman dan diameter batang. Gambar 4b merupakan grafik tinggi rata-rata tanaman kedelai pada umur 2-10 MST.

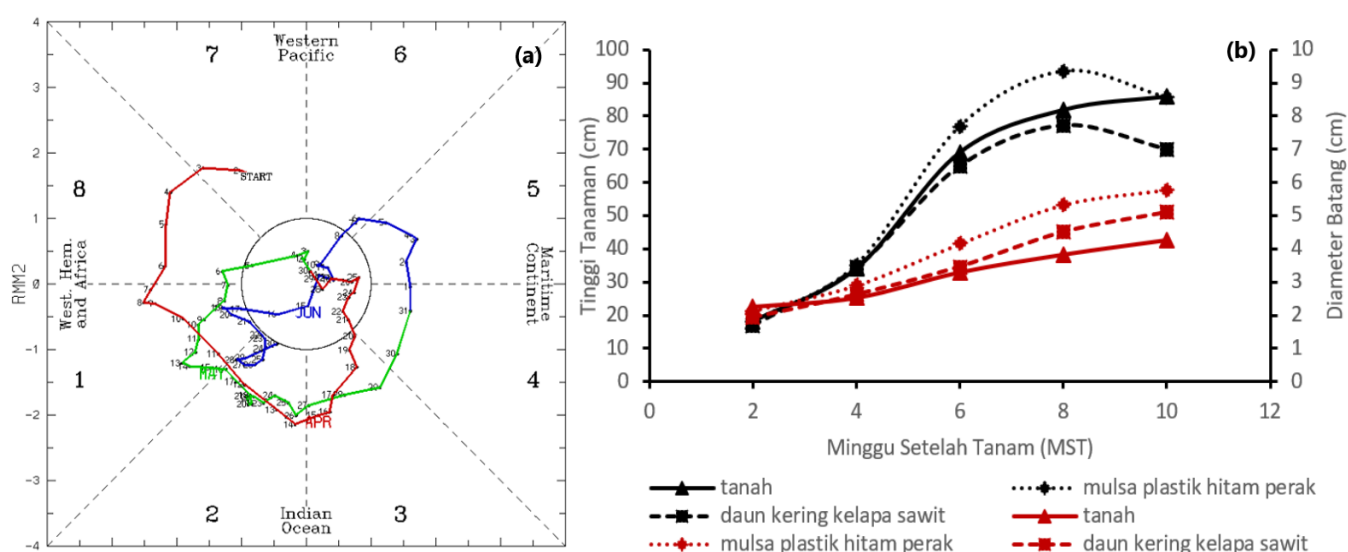
Hasil tinggi rata-rata tanaman kedelai menunjukkan bahwa perlakuan dengan penggunaan mulsa plastik hitam perak memiliki tinggi tanaman dan diameter batang yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Tinggi tanaman pada perlakuan tanpa mulsa lebih tinggi dari pada perlakuan dengan penggunaan daun kering kelapa sawit namun memiliki diameter batang paling rendah dibandingkan

dengan perlakuan lainnya. Tanaman kedelai dengan penggunaan mulsa plastik hitam perak tumbuh lebih tinggi dengan diameter batang lebih besar. Perlakuan mulsa daun kering kelapa sawit juga tumbuh tegak dengan diameter batang yang cukup besar. Akan tetapi, tanaman dengan perlakuan tanpa mulsa, memiliki diameter batang yang kecil sehingga banyak tanaman yang rebah.

Variasi morfologi tanaman yang ditunjukkan melalui tinggi dan diameter batang dipengaruhi pula oleh jumlah radiasi yang diterima (Tabel 1). Tanaman yang berada di tengah bedengan tumbuh lebih tegak dan tercukupi kebutuhan radiasinya karena pada pertanaman kelapa sawit dengan umur empat tahun masih menerima radiasi langsung tanpa melewati tajuk kelapa sawit terlebih dahulu (Afandi 2014).

Hasil uji statistik menunjukkan bahwa perlakuan mulsa tidak berpengaruh nyata terhadap tinggi tanaman namun berpengaruh nyata terhadap diameter batang ketika memasuki 8 MST hingga 10 MST. Penggunaan jenis mulsa plastik hitam perak dan daun kering kelapa sawit berpengaruh terhadap bertambahnya diameter batang, secara visual penggunaan mulsa sebagai reflektor radiasi memberikan pengaruh terhadap morfologi tanaman kedelai.

Parameter lain untuk mengetahui pertumbuhan tanaman adalah bobot kering total tanaman. Peningkatan bobot kering total setiap minggunya menunjukkan bahwa tanaman mengalami pertumbuhan seiring dengan bertambahnya umur tanaman. Peningkatan bobot kering tanaman merupakan salah satu respon tanaman terhadap penerimaan radiasi matahari.



Gambar 4. (a) Variasi fenomena *Madden Julian Oscillation* (MJO) pada April-Juni 2018. (b) Perubahan tinggi tanaman dan diameter batang.

Tabel 1. Pengaruh penggunaan mulsa terhadap parameter tinggi tanaman, diameter tanaman, dan bobot kering total tanaman.

Umur	Tinggi rata-rata (cm)			Diameter batang rata-rata (mm)			Bobot kering total (gram/tanaman)		
	R0	R1	R2	R0	R1	R2	R0	R1	R2
2 MST	18.2 ^a	17.9 ^a	16.8 ^a	2.3 ^a	2.1 ^a	1.9 ^a	0.2 ^a	0.2 ^a	0.2 ^a
4 MST	34.1 ^a	35.1 ^a	34.3 ^a	2.5 ^a	2.9 ^a	2.6 ^a	0.6 ^b	0.8 ^{ab}	1.1 ^a
6 MST	69.1 ^a	76.9 ^a	65.0 ^a	3.3 ^a	4.6 ^a	3.6 ^a	3.2 ^a	5.1 ^a	4.3 ^a
8 MST	81.9 ^a	93.6 ^a	77.3 ^a	3.8 ^b	5.3 ^a	4.5 ^{ab}	5.9 ^a	10.9 ^a	6.5 ^a
10 MST	85.9 ^a	85.6 ^a	70.1 ^a	4.2 ^b	5.8 ^a	5.1 ^{ab}	7.8 ^b	19.3 ^a	14.7 ^{ab}

Keterangan: R0 tanpa mulsa, R1 mulsa plastik hitam perak, R2 mulsa daun kering kelapa sawit. Huruf yang sama pada masing-masing baris tiap parameter menunjukkan tidak ada perbedaan nyata menurut uji nilai tengah Duncan taraf nyata 5%.

Hasil uji statistik menunjukkan bahwa penggunaan mulsa terhadap bobot kering tanaman terdapat pada 4 MST dan 10 MST. Saat 4 MST tanaman kedelai mencapai masa vegetatif maksimum, sedangkan saat 10 MST tanaman kedelai sudah mulai menghasilkan polong dan setiap perlakuan memiliki perbedaan jumlah ataupun bobot polong yang dihasilkan. Bobot kering total tanaman kedelai meningkat dengan pertambahan umur pada tiap perlakuan. Rata-rata bobot kering total tertinggi terdapat pada perlakuan mulsa plastik hitam perak diikuti dengan perlakuan mulsa daun kering kelapa sawit. Penggunaan reflektor mulsa plastik hitam perak dengan kemampuan reflektif yang lebih tinggi dibandingkan dengan mulsa daun kering kelapa sawit menghasilkan bobot kering tertinggi dibandingkan dengan perlakuan lainnya, sedangkan perlakuan tanpa mulsa menghasilkan bobot kering paling rendah.

Hasil bobot kering kedelai yang ditanam pada lahan terbuka dengan perlakuan tanpa mulsa menunjukkan hasil bobot kering yang lebih tinggi dari pada bobot kering kedelai di bawah kelapa sawit pada perlakuan yang sama, namun memiliki jumlah bobot kering yang hampir setara dengan kedua perlakuan mulsa pada masa pertumbuhannya. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan Mubarak (2017) dimana penggunaan mulsa reflektif dapat memberikan radiasi tambahan bagi tanaman karena adanya radiasi yang dipantulkan oleh mulsa. Radiasi pantul tersebut diduga dapat memberikan dampak tersendiri pada perubahan morfologi, fisiologi, dan produksi tanaman. Proporsi biomassa pada masing-masing organ tanaman ditunjukkan pada Gambar 5a-5c.

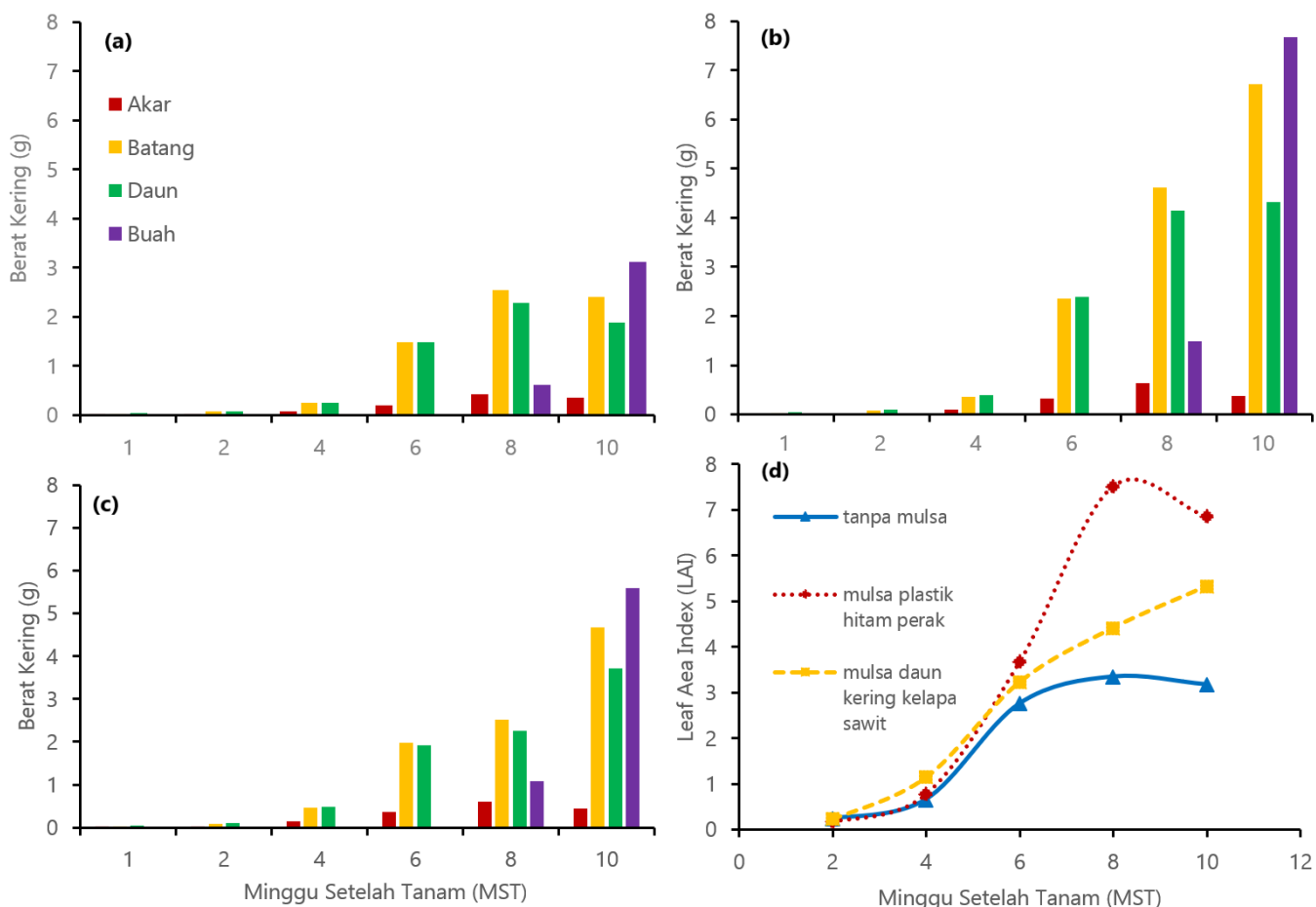
Indeks Luas Daun (ILD) dan Koefisien Pemadaman

Daun merupakan organ yang berperan besar terhadap proses fotosintesis pada tanaman. Indeks luas

daun berpengaruh terhadap jumlah radiasi yang diintersepsi oleh tanaman bersama dengan faktor lain yaitu kerapatan luas, sudut daun, dan struktur tegakan tanaman terhadap arah penerusan radiasi matahari dalam tajuk (Sadras et al., 2016). ILD memiliki peranan utama dalam intersepsi radiasi yang datang. Semakin besar nilai ILD maka luas daun yang menutupi permukaan tanah semakin rapat, sehingga radiasi yang tertahan oleh tajuk tanaman semakin besar.

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa ILD selalu meningkat setiap minggu, dan akan turun ketika mendekati masa panen (Gambar 5d). Hal ini disebabkan alokasi biomassa untuk daun yang merupakan organ vegetatif sudah menurun karena tanaman telah memasuki masa reproduktif (Sarawa and Baco, 2014). Nilai ILD paling besar terdapat pada perlakuan mulsa plastik hitam perak diikuti dengan perlakuan mulsa daun kering kelapa sawit. Perlakuan tanpa mulsa memiliki rata-rata ILD paling rendah. ILD berpengaruh pada distribusi cahaya dalam tajuk tanaman sehingga berpengaruh pula pada kemampuan tanaman dalam mengintersepsi radiasi (Tripathi et al., 2018).

Kemampuan tajuk dalam menyerap radiasi matahari ditunjukkan oleh nilai koefisien pemadaman (k). Nilai koefisien pemadaman yang tinggi menunjukkan tingginya kemampuan tajuk tanaman dalam menyerap radiasi matahari (Manshuri et al., 2016). Koefisien pemadaman berkaitan erat dengan pertumbuhan indeks luas daun dan arsitektur tanaman. Nilai koefisien pemadaman pada penelitian ini sebesar 0.5, yang diperoleh dari rata-rata koefisien pemadaman pada umur tanaman yang sudah dewasa (8 MST – 10 MST). Nilai ini cukup sesuai dengan penelitian Manshuri et al. (2016) yang menyatakan koefisien pemadaman tanaman kedelai pada beberapa varietas berkisar antara 0.5 hingga 0.7.



Gambar 5. Bobot kering masing-masing organ tanaman pada perlakuan: (a) tanpa mulsa, (b) mulsa plastik hitam perak, dan (c) mulsa daun kering kelapa sawit. (d) Perubahan nilai indeks luas daun (LAI) pada tiap perlakuan.

Radiasi Tambahan dari Reflektivitas Permukaan Setiap Perlakuan

Tajuk tanaman kedelai tidak hanya mengintersepsi radiasi yang diterima di puncak tajuk, namun juga mentransmisikan radiasi yang lolos setelah melewati tajuk tanaman kedelai. Radiasi yang ditransmisikan tersebut akan direfleksikan oleh permukaan mulsa maupun permukaan tanah. Tingkat kemampuan permukaan dalam merefleksikan radiasi yang berbeda-beda menyebabkan perbedaan pada kuantitas radiasi yang direfleksikan. Jumlah radiasi harian yang ditransmisikan oleh tajuk tanaman dan intersepsi radiasi tambahan oleh permukaan pada beberapa perlakuan disajikan pada Gambar 6a dan 6b.

Radiasi yang ditransmisikan oleh tajuk tanaman kedelai pada setiap perlakuan memiliki pola yang sama, yaitu tinggi meningkat saat masa awal tanam dan terus menurun ketika mendekati fase vegetatif maksimum dan fase reproduktif. Perlakuan tanpa mulsa memiliki kuantitas radiasi transmisi paling tinggi diikuti dengan perlakuan mulsa daun kering kelapa sawit, sedangkan perlakuan mulsa plastik hitam perak memiliki kuantitas radiasi transmisi paling rendah. Hal ini disebabkan karena fluktuasi reflektivitas radiasi oleh permukaan mulsa, sehingga menyebabkan perubahan penerimaan

radiasi oleh tajuk tanaman yang bergantung pada indeks luas daun (Mubarak 2017).

Radiasi yang ditransmisikan oleh permukaan ketiga perlakuan konstan dan mencapai nilai minimum ketika tanaman mencapai 49 hingga 77 HST atau 8 hingga 11 MST karena tanaman telah mencapai fase reproduktif dengan kondisi penutupan tajuk yang rapat. Kuantitas radiasi yang ditransmisikan kembali meningkat setelah melewati umur tanaman 77 HST. Hal tersebut disebabkan oleh daun yang gugur karena mendekati masa panen sehingga radiasi yang ditransmisikan kedelai turut meningkat.

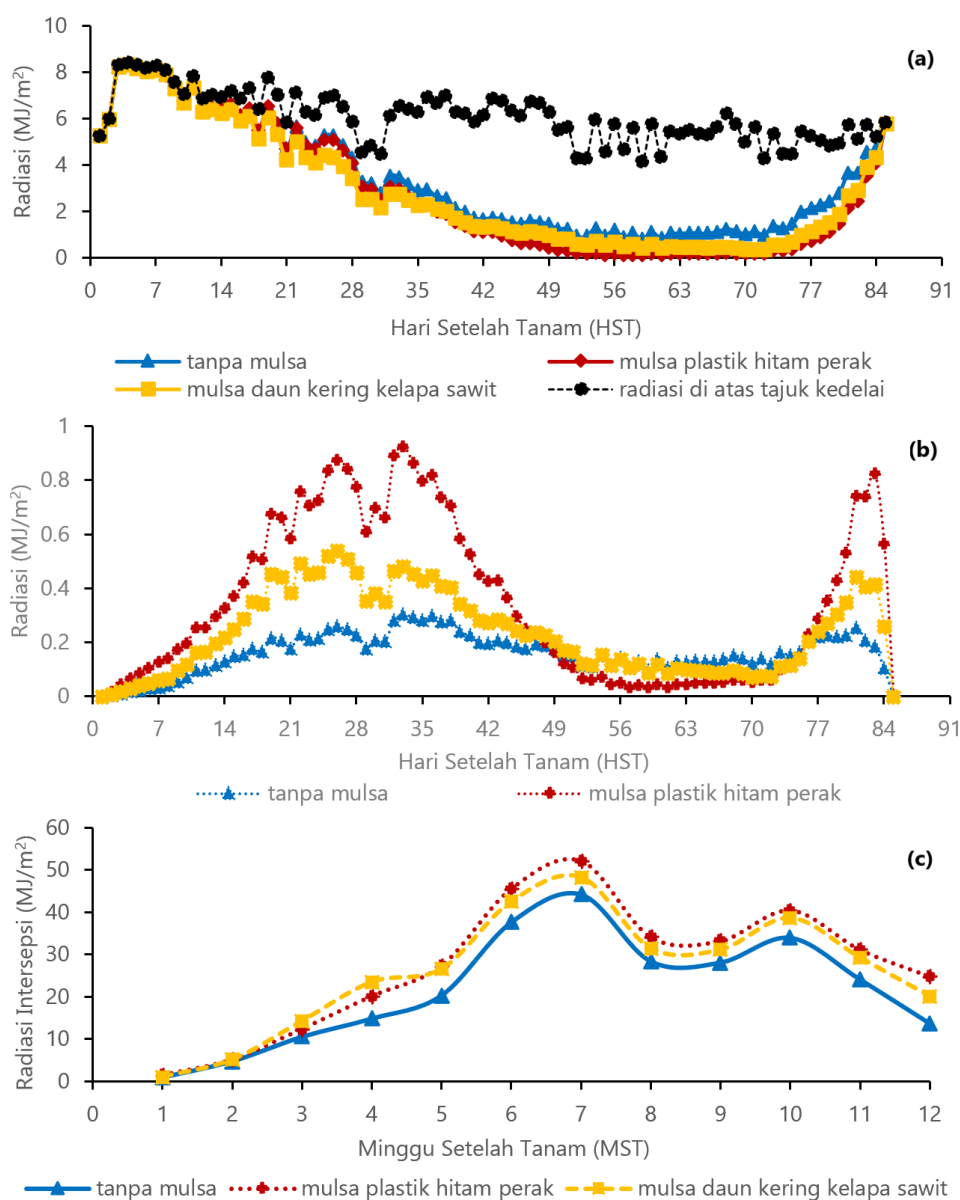
Gambar 6b menunjukkan bahwa intersepsi radiasi tambahan oleh permukaan terus meningkat pada awal tanam dan menurun kembali saat memasuki fase vegetatif maksimum dan fase reproduktif. Hal tersebut karena indeks luas daun yang terus meningkat dan radiasi transmisi terus menurun sehingga radiasi tambahan yang diterima tanaman kedelai juga semakin minim. Walaupun kemampuan intersepsi radiasi tanaman meningkat pada 49 hingga 77 HST, namun input radiasi transmisi yang sampai pada permukaan tiap perlakuan juga sangat minim. Besarnya radiasi yang direfleksikan oleh permukaan dipengaruhi oleh input dari radiasi transmisi dan albedo permukaan.

Tambahan radiasi yang diterima tanaman kedelai merupakan faktor dari radiasi yang direfleksikan oleh mulsa, ILD, dan koefisien pemadaman yang diduga menggunakan Hukum Beer.

Intersepsi Radiasi Total

Intersepsi radiasi total tanaman kedelai adalah jumlah radiasi yang diintersepsi tanaman kedelai dari radiasi yang sampai di puncak tajuk tanaman dan radiasi tambahan dari radiasi yang direfleksikan oleh mulsa. Nilai intersepsi radiasi meningkat seiring dengan pertambahan umur tanaman. Peningkatan intersepsi radiasi juga sejalan dengan peningkatan ILD, semakin tinggi nilai ILD maka radiasi yang diintersepsi juga semakin tinggi (Tripathi et al., 2018). Radiasi total yang diintersepsi tanaman kedelai setiap perlakuan mulsa ditampilkan pada Gambar 6c.

Radiasi total yang diintersepsi cenderung meningkat pada tiap perlakuan mulsa setiap minggunya hingga mencapai titik puncak pada minggu ke-7 saat tanaman memasuki fase reproduktif. Akumulasi intersepsi radiasi cenderung fluktuatif setiap minggunya karena perbedaan radiasi global yang mencapai permukaan bumi. Hujan yang cukup sering terjadi pada minggu ke-8 dan ke-9 menyebabkan lama penyinaran matahari pada periode tersebut menurun sehingga radiasi total yang diintersepsi oleh tanaman juga menurun. Setelah melewati minggu ke-10 intersepsi radiasi oleh tanaman terus menurun akibat nilai ILD yang juga menurun hingga mendekati masa panen. Besarnya radiasi yang diintersepsi oleh tanaman tergantung pada kuantitas radiasi datang yang sampai pada puncak tajuk tanaman, ILD, sudut daun, dan distribusi daun dalam tajuk (JinJian et al., 2018).



Gambar 6. (a) Radiasi transmisi tanaman kedelai pada setiap perlakuan (b) Intersepsi radiasi tambahan oleh permukaan tiap perlakuan (c) Radiasi total yang diintersepsi tanaman kedelai pada tiap perlakuan.

Intersepsi radiasi total maksimum terdapat pada perlakuan mulsa plastik hitam perak dengan 52.2 MJ/m²/minggu disusul oleh perlakuan mulsa daun kering kelapa sawit dengan intersepsi radiasi sebesar 48.2 MJ/m²/minggu, dan perlakuan tanpa mulsa dengan intersepsi radiasi maksimum sebesar 44.3 MJ/m²/minggu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan mulsa plastik hitam perak mampu mengintersepsi radiasi 25% lebih besar dibandingkan dengan perlakuan tanpa mulsa, sedangkan perlakuan mulsa daun kering kelapa sawit mampu mengintersepsi 15% lebih besar berdasarkan akumulasi radiasi satu musim tanam yang dihitung dengan persamaan Hukum Beer. Radiasi intersepsi total selama musim tanam berturut-turut untuk perlakuan tanpa mulsa, mulsa plastik hitam perak, dan mulsa daun kering kelapa sawit sebesar 261.8, 327.8, dan 311.7 MJ/m²/musim tanam. Adanya perubahan pantulan radiasi oleh permukaan mulsa menyebabkan perubahan terhadap tajuk tanaman melalui indeks luas daun sehingga intersepsi radiasi matahari pada perlakuan mulsa lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan tanpa mulsa (Mubarak, 2017).

Efisiensi Pemanfaatan Radiasi (EPR)

Efisiensi pemanfaatan radiasi (EPR) merupakan karakter tanaman dalam mengubah energi radiasi matahari menjadi bobot kering tanaman. Pertumbuhan tanaman akan maksimal jika kemampuan tanaman mengubah radiasi matahari menjadi bobot kering semakin tinggi (Manshuri et al., 2016). Nilai EPR didapatkan dengan membandingkan nilai perubahan biomasa dengan akumulasi radiasi total yang diintersepsi. Hasil penelitian menunjukkan nilai EPR pada perlakuan tanpa mulsa, mulsa plastik hitam perak, dan mulsa daun kering kelapa sawit berturut-turut adalah 0.7, 1.6, dan 1.2 g/MJ. Nilai EPR yang didapatkan menunjukkan bahwa tanaman dengan perlakuan mulsa lebih efisien dalam memanfaatkan radiasi yang diintersepsi oleh tanaman kedelai terutama perlakuan mulsa plastik hitam perak dengan nilai EPR paling tinggi dibandingkan dengan perlakuan lain.

Kedelai merupakan salah satu tanaman C3 semusim yang memiliki nilai EPR berkisar antara 1.2–1.7 g/MJ (Liu et al., 2018). Nilai EPR yang cukup sesuai dengan literatur yaitu pada perlakuan mulsa, sedangkan pada perlakuan tanpa mulsa EPR menurun cukup signifikan. Peningkatan nilai EPR pada perlakuan mulsa cukup sesuai dengan penelitian Mubarak (2017) yaitu penggunaan mulsa plastik hitam perak pada tanaman kedelai yang ditanam di bawah naungan paranet 50% menunjukkan peningkatan yang signifikan pada perlakuan mulsa plastik hitam perak yaitu mencapai 1.9 g/MJ.

Akumulasi Panas Tanaman

Akumulasi panas (AP) atau *heat unit* digunakan untuk mengetahui umur suatu tanaman dengan mengetahui kebutuhan panasnya selama pertumbuhan tanaman. Perubahan fase perkembangan tanaman tidak berbeda pada masing-masing perlakuan mulsa. Tanaman mencapai fase reproduktif ditandai dengan awal munculnya bunga. Fase ini dicapai ketika umur tanaman 31 hari setelah tanam (HST). Hal ini sesuai dengan dimulainya fase reproduktif kedelai varietas Anjasmoro (Salim et al., 2017). Hasil penelitian menunjukkan bahwa akumulasi panas tanaman kedelai mencapai 1546.5°C Hari dengan tahap berumur genjah melalui nilai suhu rata-rata harian yang berbeda-beda, akumulasi panas tanaman kedelai antara 1243.9–1748.9°C Hari. Perbedaan umur tanaman kedelai menyebabkan selang akumulasi panas yang semakin besar pula.

Serangan Organisme Pengganggu Tanaman (OPT)

Pertumbuhan dan perkembangan tanaman juga dipengaruhi oleh berbagai faktor lain, diantaranya curah hujan yang dapat berpengaruh terhadap kelembaban udara di sekitar tanaman. Hal ini berkaitan dengan peningkatan serangan hama dan penyakit yang menyerang tanaman kedelai karena lingkungan yang sesuai bagi pertumbuhan hama. Selama masa penelitian ditemukan beberapa hama tanaman diantaranya ulat grayak (*Spodoptera litura*) yang menyerang dari awal pertumbuhan tanaman. Usaha pengendalian hama dilakukan dengan penyemprotan pestisida. Hal ini dilakukan karena dampak serangan dari ulat grayak tidak hanya menyerang daun namun juga tulang daun muda sehingga akan berdampak negatif pada tanaman kedelai yang masih muda. Serangan hama ini juga masih terdapat ketika tanaman kedelai mencapai masa reproduktif namun masih dapat dikendalikan dengan penanganan secara manual. Beberapa jenis hama yang menyerang tanaman kedelai adalah ulat *Spodoptera litura* dan *Lamprosema indicata*.

Hama lainnya yang cukup riskan menyerang tanaman kedelai adalah ulat penggulung daun (*Lamprosema indicata*) yang menyerang tanaman ketika memasuki fase mulai berpolong. Hama ini dapat menyebabkan kerusakan yang sangat parah pada daun kedelai dan dapat menyebabkan penurunan hasil mencapai 80% hingga puso bila tidak dilakukan penanganan. Usaha pengendalian hama yang dilakukan ketika terjadi serangan dalam penyemprotan pestisida dan pengendalian secara manual. Ulat penggulung daun merupakan hama yang cukup dominan menyerang pertanaman kedelai pada lorong kelapa sawit.

Respon Produksi Kedelai

Komponen hasil yang diamati meliputi jumlah polong/tanaman, proporsi polong hampa, bobot biji/tanaman, dan bobot 1000 butir biji kedelai yang disajikan pada Tabel 2. Berdasarkan analisis statistik yang telah diujikan pada komponen hasil tanaman, penggunaan mulsa pada tumpang sari kedelai dan kelapa sawit berpengaruh nyata terhadap jumlah polong/tanaman dan bobot biji/tanaman namun pengaruh perbedaan jenis mulsa tidak berbeda nyata. Hasil penelitian sebelumnya mengenai perbedaan penggunaan mulsa plastik hitam perak dan jerami pada tanaman kentang juga menunjukkan hasil tidak berbeda nyata pada dua jenis mulsa yang digunakan (Rahman et al., 2017).

Penggunaan mulsa memberikan peningkatan jumlah polong per tanaman yang signifikan. Penggunaan mulsa plastik hitam perak dan mulsa daun kering kelapa sawit berturut-turut memiliki 53 dan 45 polong/tanaman yang meningkat dari sejumlah 23 polong/tanaman pada perlakuan tanpa mulsa. Bobot biji/tanaman juga mengalami peningkatan yang signifikan pada perlakuan mulsa. Bobot biji/tanaman perlakuan mulsa plastik hitam perak dan mulsa daun kering kelapa sawit berturut-turut 12.6 g dan 11.6 g yang meningkat dari 5.1 g pada perlakuan tanpa mulsa. Disisi lain, pengaruh mulsa pada proporsi polong hampa dan bobot 1000 butir biji kedelai tidak berpengaruh nyata. Hal ini berarti bahwa penggunaan mulsa hanya berpengaruh pada aspek kuantitatif dan tidak terlalu berpengaruh pada aspek kualitatif pada komponen hasil tanaman. Pengaruh positif penggunaan mulsa pada aspek morfologi ditunjukkan tanaman dari awal pertumbuhan dengan hasil yang lebih besar pada penggunaan kedua jenis mulsa. Perbedaan hasil cukup signifikan diduga disebabkan oleh pengaruh lain pada aplikasi mulsa meliputi modifikasi suhu tanah, konservasi kelembaban tanah, mencegah kehilangan nutrisi tanah, mengurangi

pertumbuhan gulma, dan meningkatkan hasil tanaman (Kurrey et al., 2016).

Produktivitas tanaman kedelai nasional Indonesia mencapai 1.6 ton/ha dengan kisaran 0.8-2.4 ton/ha pada tingkat petani, sedangkan pada tingkat penelitian produktivitas rata-rata tanaman kedelai cukup tinggi, yaitu antara 1.7-3.2 ton/ha (Balitkabi, 2016). Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan yang disajikan pada Tabel 2, potensi produktivitas tertinggi yaitu perlakuan mulsa plastik hitam perak yang mencapai 4.6 ton/ha diikuti perlakuan mulsa daun kering kelapa sawit dengan jumlah yang tidak jauh berbeda yaitu 4.4 ton/ha sedangkan perlakuan tanpa mulsa hanya mencapai 3.1 ton/ha.

Potensi produktivitas kedelai pada sistem tumpang sari dengan kelapa sawit umur empat tahun mengalami penurunan jika dibandingkan dengan potensi produktivitas kedelai yang ditanam di lahan terbuka tanpa naungan yang mencapai 5.7 ton/ha. Nilai potensi produktivitas yang jauh lebih tinggi dari rata-rata produktivitas kedelai nasional disebabkan karena metode pengambilan contoh saat panen menggunakan *purposive random sampling* dengan asumsi tidak mengalami perubahan populasi dan seluruh tanaman tumbuh sehat selama penelitian berlangsung. Nilai potensi produktivitas tanaman yang tinggi juga terdapat pada penelitian Mubarak (2017) yaitu 5.0 ton/ha pada perlakuan tanpa mulsa dan 7.1 ton/ha pada perlakuan mulsa plastik hitam perak yang ditanam pada 50% naungan paranet dengan asumsi dan varietas yang sama.

Penurunan potensi produktivitas pada perlakuan tanpa mulsa, mulsa plastik hitam perak, dan mulsa daun kering kelapa sawit berturut-turut adalah 38%, 17%, dan 18% dibandingkan dengan tanaman kelapa sawit yang ditanam di lahan terbuka tanpa naungan. Penggunaan mulsa dalam meningkatkan reflektivitas radiasi matahari guna meningkatkan radiasi yang diintersepsi menjadi hal yang perlu diperhatikan.

Tabel 2 Potensi produktivitas tanaman kedelai.

Perlakuan	Jumlah Polong /Tanaman	Polong Hampa (%)	Bobot Biji/ Tanaman (g)	Bobot 1000 Butir (g)	Produktivitas (Ton/ha)	Penurunan produktivitas (%)
R0	23 ^b	8.3 ^a	5.1 ^b	168.4 ^a	3.1	46
R1	53 ^a	3.7 ^a	12.6 ^a	158.7 ^a	4.6	19
R2	45 ^a	2.6 ^a	11.6 ^a	168.4 ^a	4.4	23
Kedelai pada lahan terbuka					5.7	-

R0: tanpa mulsa, R1: mulsa plastik hitam perak, R2: mulsa daun kering kelapa sawit. Keterangan: huruf yang sama pada masing-masing baris tiap parameter menunjukkan **tidak** ada perbedaan nyata menurut uji nilai tengah Duncan taraf nyata 5%.

Hal ini mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman kedelai yang berada dibawah tegakan kepala sawit. Perlakuan dengan mulsa plastik hitam perak menjadi pilihan terbaik dibandingkan dengan mulsa daun kering kelapa sawit dalam meningkatkan penerimaan radiasi matahari. Potensi peningkatan produktivitas tanaman kedelai mampu mencapai 48% dengan menggunakan mulsa plastik hitam perak dan 42% dengan menggunakan mulsa daun kering kelapa sawit.

KESIMPULAN

Tanaman kelapa sawit umur empat tahun mampu mentransmisikan radiasi sekitar 42%. Albedo pada perlakuan tanpa mulsa, mulsa plastik hitam perak, dan mulsa daun kering kelapa sawit berturut-turut adalah 0.2, 0.7, dan 0.4. Penggunaan mulsa sebagai reflektor memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan intersepsi radiasi matahari dan bobot kering tanaman serta morfologi tanaman yang dapat diamati secara visual. Tanaman kedelai pada perlakuan mulsa plastik hitam perak dan mulsa daun kering kelapa sawit berturut-turut dapat mengintersepsi radiasi 25% dan 15% lebih besar dari pada perlakuan tanpa mulsa. EPR pada perlakuan mulsa plastik hitam perak dan mulsa daun kering kelapa sawit adalah 1.6 dan 1.2 g/MJ yang meningkat cukup signifikan dibandingkan perlakuan tanpa mulsa yaitu 0.7 g/MJ.

Potensi produktivitas tanaman kedelai perlakuan mulsa plastik hitam perak dan mulsa daun kering kelapa sawit adalah 4.6 ton/ha dan 4.4 ton/ha yang meningkat dari 3.1 ton/ha pada perlakuan tanpa mulsa sehingga penggunaan mulsa direkomendasikan pada budidaya kedelai yang ditumpangsarikan dengan kelapa sawit umur empat tahun. Perlakuan yang diujikan (tanpa mulsa, mulsa plastik hitam perak, dan mulsa daun kering kelapa sawit) tidak berpengaruh terhadap perkembangan tanaman ditunjukkan dengan tanaman pada tiap perlakuan mencapai fase perkembangan tanaman dalam waktu yang bersamaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Afandi, A., 2014. Karakteristik Radiasi Matahari Pertanaman Kelapa Sawit: Implikasi terhadap Iklim Mikro dan Potensi Tanaman Sela. IPB, Bogor.
- Balitkabi, 2016. Deskripsi Kedelai Varietas Unggul 1918-2016. Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi, Malang.
- Bureau of Meteorology, 2019. MJO April - Juni 2018 [WWW Document]. URL bom.gov.au/climate/mjo
- D. Shao, W. Xu, H. Li, J. Wang, X. Hao, H. Li, Y. Jin, 2019. Forward Simulation of Snow Albedo Based on Snicar Model, in: IGARSS 2019 - 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Presented at the IGARSS 2019 - 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, pp. 4044–4047. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2019.8900584>
- Goplen, J.J., Sheaffer, C.C., Becker, R.L., Coulter, J.A., Breitenbach, F.R., Behnken, L.M., Johnson, G.A., Gunsolus, J.L., 2016. Giant Ragweed (*Ambrosia trifida*) Seed Production and Retention in Soybean and Field Margins. *Weed Technology* 30, 246–253. <https://doi.org/10.1614/WT-D-15-00116.1>
- Henderson, S.A., Maloney, E.D., Son, S.-W., 2017. Madden-Julian Oscillation Pacific Teleconnections: The Impact of the Basic State and MJO Representation in General Circulation Models. *J. Climate* 30, 4567–4587. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0789.1>
- Hu, R., Yan, G., Nerry, F., Liu, Y., Jiang, Y., Wang, S., Chen, Y., Mu, X., Zhang, W., Xie, D., 2018. Using Airborne Laser Scanner and Path Length Distribution Model to Quantify Clumping Effect and Estimate Leaf Area Index. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 56, 3196–3209. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2018.2794504>
- JinJian, G., ChunYan, W., WanYing, C., XueLing, Y., MaoSong, L., 2018. Soybean canopy radiation interception and its influence on yield production in extremely precocious area. *Journal of Agricultural Science and Technology (Beijing)* 20, 111–123.
- Kementan, 2016. Outlook Komoditas Pertanian Sub Sektor Tanaman Pangan: Kedelai 2016. Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian, Kementerian Pertanian, Jakarta.
- Kurrey, D., Thakur, C.L., Lakpale, R., Sahu, P.L., 2016. Efficacy of Herbicide and Insecticide against Defoliator Pest, Weed (*Echinochloa colonum*) and Yield of Soybean 6.
- Liu, X., Rahman, T., Song, C., Yang, F., Su, B., Cui, L., Bu, W., Yang, W., 2018. Relationships among light distribution, radiation use efficiency and land equivalent ratio in maize-soybean strip intercropping. *Field Crops Research* 224, 91–101. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.05.010>
- Manshuri, A.G., Nugrahaeni, N., Harnowo, D., 2016. Ideotipe tanaman kedelai genjah berdaya hasil tinggi. *Prosiding Seminar Hasil Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi* 2015 124–135.

- Mubarak, S., 2017. Neraca radiasi matahari dan respon tanaman kedelai terhadap penggunaan mulsa reflektif. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Rahman, A.A., Barus, A., Sipayung, R., 2017. Respons Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Kedelai Terhadap Pemberian Pupuk Organik Cair dan Mulsa. Jurnal Agroekoteknologi 5. <https://doi.org/10.32734/jaet.v5i1.15084>
- Ross, F., Abbate, P.E., 2018. Effects on Soybean Growth and Yield of Wheat-Soybean Intercropping System. Journal of Advances in Agriculture 9, 1498–1510. <https://doi.org/10.24297/jaa.v9i0.7906>
- Sadras, V.O., Villalobos, F.J., Fereres, E., 2016. Radiation Interception, Radiation Use Efficiency and Crop Productivity, in: Villalobos, F.J., Fereres, E. (Eds.), Principles of Agronomy for Sustainable Agriculture. Springer International Publishing, Cham, pp. 169–188. https://doi.org/10.1007/978-3-319-46116-8_13
- Salim, H., Nusifera, S., Fathia, N.M.E., 2017. Hasil dan Komponen Hasil Kedelai (*Glycine max* L. Merr) yang Diberi Pemupukan Nitrogen Lanjutan pada Fase Reproduksi (R1). Agrosaintek: Jurnal Ilmu dan Teknologi Pertanian 1, 10–15. <https://doi.org/10.33019/agrosainstek.v1i1.2>
- Sarawa, Baco, A.R., 2014. Partisi fotosintat beberapa kultivar kedelai (*Glicine max*. (L.) Merr.) pada ultisol. Jurnal Agroteknos 4, 152–159.
- Saville, D.J., 2015. Multiple Comparison Procedures—Cutting the Gordian Knot. Agronomy Journal 107, 730–735. <https://doi.org/10.2134/agronj2012.0394>
- Sheikholeslami, M., Rokni, H.B., 2018. Numerical simulation for impact of Coulomb force on nanofluid heat transfer in a porous enclosure in presence of thermal radiation. International Journal of Heat and Mass Transfer 118, 823–831. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.11.041>
- Sigalingging, R., Gh, S.J., Herak, D., 2016. Solar Energy Opportunities For Indonesia Agricultural Systems. Presented at the The 6th International Conference on Trends in Agricultural Engineering Journal, pp. 583–587.
- Tripathi, A.M., Pohanková, E., Fischer, M., Orság, M., Trnka, M., Klem, K., Marek, M.V., 2018. The evaluation of radiation use efficiency and leaf area index development for the estimation of biomass accumulation in short rotation poplar and annual field crops. Forests 9, 168. <https://doi.org/10.3390/f9040168>
- Uto, K., Mura, M.D., Chanussot, J., Shinoda, K., 2019. Estimation of diffuse component of global radiation based on leaf-scale crop images, in: IGARSS 2019 - 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Presented at the IGARSS 2019 - 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, pp. 6263–6266. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2019.8898222>
- Wang, D., Liang, S., He, T., Yu, Y., Schaaf, C., Wang, Z., 2015. Estimating daily mean land surface albedo from MODIS data. Journal of Geophysical Research: Atmospheres 120, 4825–4841. <https://doi.org/10.1002/2015JD023178>
- Yang, H., Johnson, K.R., Griffiths, M.L., Yoshimura, K., 2016. Interannual controls on oxygen isotope variability in Asian monsoon precipitation and implications for paleoclimate reconstructions. Journal of Geophysical Research: Atmospheres 121, 8410–8428. <https://doi.org/10.1002/2015JD024683>
- Zanon, A.J., Streck, N.A., Grassini, P., 2016. Climate and management factors influence soybean yield potential in a subtropical environment. Agronomy Journal 108, 1447–1454. <https://doi.org/10.2134/agronj2015.0535>
- Zheng, G., Ma, L., Eitel, J.U.H., He, W., Magney, T.S., Moskal, L.M., Li, M., 2017. Retrieving directional gap fraction, extinction coefficient, and effective leaf area index by incorporating scan angle information from discrete aerial Lidar data. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 55, 577–590. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2016.2611651>